ما يجب أن أعرف حتى أقول : إني استوعبت هذا الدرس

- يجب أن أعرف أنه يمكن تغيير تكوين نواة بواسطة قذفها بنيوترون .
- يجب أن أستوعب أن الكتلة تصاحبها طاقة تسمى طاقة الكتلة .
- يجب أن أعرف أن كتلة مكونات النواة وهي منفصلة في حالة الراحة أكبر من كتلتها وهي متماسكة في النواة .
- يجب أن أعرف سبب تماسك النواة رغم احتوائها على جسيمات متماثلة الشحنة (البروتونات) .
- يجب أن أعرف العلاقة التي تُعطي طاقة تماسك النواة E_l .
- يجب أن أتمكن من مقارنة استقرار الأنوية بواسطة طاقة التماسك لكل نوكليون $\frac{E_l}{A}$
- يجب أن أتمكن من قراءة منحنى أستون (Aston)
- يجب أن أفهم سبب قابلية الأنوية للانشطار وقابليتها للاندماج .
- يجب أن أعرف أن في تفاعل نووي يمكن التقاط الطاقة بفعل اختلاف الكتلة قبل وبعد التفاعل .

ملخص الدرس

التحوّل النووي : هوتحوّل يتم على مستوى الأنوية ، بحيث تنحفظ الأعداد الكتلية للعناصر وأرقامها الذرية .

$${}^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow {}^{A_3}_{Z_3}X_3 + {}^{A_4}_{Z_4}X_4$$ مع $$A_1 + A_2 = A_3 + A_4$$ $$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$$

طاقة الكتلة E : هي الطاقة التي تصاحب الكتلة ، وتُعطى بعلاقة أنشتاين $E = m c^2$ ، حيث m : كتلة الجسم (kg) ، c : سرعة الضوء في الفراغ .

$c \approx 3 \times 10^8$ m/s ، E : طاقة الكتلة (Joule) .

$1\ eV = 1{,}602 \times 10^{-19}$ J (الإلكترون – فولط)

$1\ MeV = 10^6\ eV = 1{,}602 \times 10^{-13}$ J (ميغا إلكترون – فولط)

النقص الكتلي Δm : هو الفرق بين كتلة النوكليونات منفصلة في حالة الراحة وكتلة النواة .

$$\Delta m = Z \times m_p + (A - Z)\, m_n - m_X$$

حيث : m_p : كتلة البروتون ، m_n : كتلة النوترون ، m_X : كتلة النواة X

طـاقة ارتباط نواة E_l : هي النقص في الكتلة المتحوّل إلى طـاقة $E_l = \Delta m\, c^2$

طاقة التماسك لكل نوكليون : نعتبر طاقة تماسك النواة موزّعة على كل النوكليونات ، فنعبّر عن طاقة التماسك لكل نوكليون بـ $\frac{E_l}{A}$ ،

حيث A : العدد الكتلي .

كلما كانت هذه الطاقة أكبر كلما كانت النواة أكثر استقرار .

GUEZOURI Aek

منحنى أستون (Aston) : يمثل هذا المنحني تغيرات $-\frac{E_l}{A}$ بدلالة A .

الإندماج النووي : هو تفاعل يحدث فيه إتحاد نواتين لتشكيل نواة أثقل منهما ، وتكون طاقة التماسك لكل نوكليون فيها أكبر مما في النواتين المندمجتين .

الإنشطار النووي : هو تفاعل يحدث فيه انقسام نواة ثقيلة إلى نواتين أخف منها ، وطاقة التماسك لكل نوكليون في كل واحدة أكبر مما في النواة المنشطرة .

محتوى الدرس

1 – التحوّل النووي المفتعل :

على عكس التحوّل النووي الطبيعي الذي يحدث تلقائيا ، التحوّل النووي المفتعل يمكن القيام به في المفاعلات النووية .

أول تحوّل مفتعل تحقق في 1919 عندما قذف روذرفورد ذرات الآزوت بواسطة الجسيمات α :

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}H_e \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}p$$

يمكن لتحوّل مفتعل أن يُتبع بتحوّلات تلقائية ، مثل قذف نواة اليورانيوم 238 بواسطة نيترون : $^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}U$

يُتبع هذا التحوّل بتحوّلات تلقائية منها :

$$^{239}_{92}U \rightarrow ^{239}_{93}Np + ^{0}_{-1}e$$

$$^{239}_{93}Np \rightarrow ^{239}_{94}Pu + ^{0}_{-1}e$$

- كل نواة مصطنعة هي نواة مشعة حسب النمط α أو β^- أو β^+
- سواء كان التحوّل النووي طبيعيا أو مفتعلا فإن الأعداد الكتلية والأرقام الذرية تكون محفوظة : $A_1 + A_2 = A_3 + A_4$
$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$

2 – طـاقة الكتلة :

الدليل على وجود جسم هو امتلاكه كتلة . هذه الكتلة تُضفي على المـادة طـاقة تسمى طـاقة الكتلة ، وهي طـاقة الوجود .

هذا ما بيّنه العـالم الفيزيائي والفيلسوف أنشتـاين في العلاقة الرياضية : $E = m\,c^2$

m : كتلة الجسم (kg)

c : سرعة الضوء في الفراغ ($c \approx 3 \times 10^8$ m/s)

E : طـاقة الكتلة (Joule)

نستعمل في هذا المجال وحدتين أخريين للتعبير عن الطاقة هما :

- الإلكترون فولط (eV) : $1\ eV = 1{,}602 \times 10^{-19}\ J$
- الميغا إلكترون فولط (MeV) : $1\ MeV = 10^6\ eV = 1{,}602 \times 10^{-13}\ J$

للمزيد : منشأ الوحدة إلكترون فولط :

الطاقة الكهربائية الناتجة في ناقل كهربائي خلال مدّة زمنية Δt هي : $E = U\,I\,\Delta t$ (1)

وكمية الكهرباء المارة في الناقل خلال هذه المدة هي : $Q = I\,\Delta t$ (2)

من (1) و (2) نستنتج : $E = U\,Q$ (3)

لو استعملنا في العلاقة (3) U بالفولط و Q بالكولون لكانت E بالجول

$1{,}602 \times 10^{-19}\ C \times 1\ V = 1\ eV$ ، ومنه : $1\ eV = 1{,}602 \times 10^{-19}\ J$

مثال : ما هي الطاقة المرافقة لكتلة الإلكترون ؟

كتلة الإلكترون هي $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}\ kg$

$$E = m\,c^2 = 9{,}11 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2 = 82 \times 10^{-15}\ J = 0{,}51\ MeV$$

3 - الوحدة الموحدة للكتلة :

ما دمنا نتعامل مع كتل صغيرة في هذا المجال ، نختار وحدة لقياس الكتل نسميها (u.m.a) : **u**nité de **m**asse **a**tomique

أو اختصارا (u) بحيث : $1\ u = 1{,}66055 \times 10^{-27}\ kg$.

تعريف : وحدة الكتل الذرية (u) هي $\frac{1}{12}$ من كتلة نواة الكربون ^{12}C .

مثلا : كتلة البروتون $m_p = 1{,}6727 \times 10^{-27}\ kg$ ، وبالتالي : $m_p = \frac{1{,}6727}{1{,}66055} = 1{,}0073\,u$

4 - النقص الكتلي :

لو أخذنا كمثال نواة الصوديوم $^{22}_{11}Na$ ، فهي تحتوي في نواتها على 11 بروتون و 11 نوترون .

بيّنت التجربة أن كتلة 11 بروتون + كتلة 11 نوترون أكبر من كتلة النواة ، وهذا ينطبق على باقي الأنوية الأخرى .

$$Z\,m_p + (A - Z)\,m_n - m_X > 0$$

m_p : كتلة البروتون
m_n : كتلة النوترون
m_X : كتلة النواة

هذا مثال تقريبي لكي نفهم أين يذهب هذا الفرق في الكتلة :

لدينا مجموعة من الأشخاص طرق معيشتهم تختلف في كثير من النقط . اقتضت الضرورة أن يسافروا في بعثة بحيث يتحتم عليهم أن يشتركوا في إعاشتهم . إن وجودهم في هذه الحالة يحتم على كل واحد أن يتنازل عن قليل من عاداته التي لا يحتملها الآخرون حتى يمكن له أن يتعايش في الجماعة .

أين ذهبت كل هذه التنازلات ؟ لقد تحوّلت إلى رابط يمسك أفراد هذه الجماعة إلى بعضهم البعض .

عندما يعودون من سفرهم ، لو عاد كل واحد إلى طريقة تفكيره الأولى ، بدون شك ستتفرق الجماعة .

هذا ما يحدث عندما نجمع النوكليونات في النواة ، تنقص الكتلة لتتحول إلى طاقة تجعل المكونات متماسكة مع بعضها .

الطاقة الناتجة هي : $E = \Delta m\,c^2$ (طبعا ما هذا إلا شرح سطحي يوافق مستوى السنة الثالثة ثانوي)

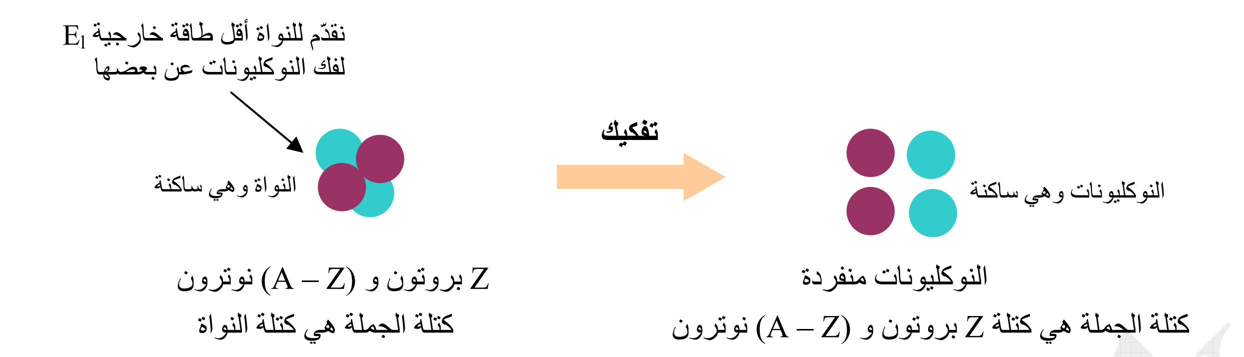
5 - طاقة تماسك النواة :

هي الطاقة المنبعثة من كتل النوكليونات عند تماسكها وهي التي تضمن تماسك النواة . وبتعريف آخر هي الطاقة التي يوفرها الوسط الخارجي لنفصل النوكليونات عن بعضها وهي متماسكة في النواة . تعطى هذه الطاقة بالعبارة :

$$E_l = (\,Z\,m_p + (A - Z)\,m_n - m_X)\,c^2$$

m_p : كتلة البروتون
m_n : كتلة النوترون
m_X : كتلة النواة
c : سرعة الضوء في الفراغ (ثابت أنشتاين)

GUEZOURI Aek



تزداد الكتلة بـ Δm ، فتزداد طاقة الجملة بـ $E = \Delta m c^2$

والعكس هو عندما تتشكل النواة ابتداء من النوكليونات الحرة ، فإن الوسط الخارجي يُقدّم الطاقة $E = |\Delta m| c^2$ ، لأن $\Delta m < 0$.

مثال : تُعطى كتلة البروتون $m_p = 1,6727 \times 10^{-27} kg$ و كتلة النوترون $m_n = 1,6750 \times 10^{-27} kg$ وكتلة نواة الهيدروجين الثقيل ${}_1^2H$: $m = 3,3435 \times 10^{-27} kg$. احسب طاقة تماسك نواة هذا النظير .

تحتوي النواة على بروتون واحد ونوترون واحد ومنه : $E_l = \left(m_p + m_n - m_X\right) c^2 = 37,8 \times 10^{-14} J = 2,36 \, MeV$

6 – طـاقة التماسك لكل نوكليون :

نعتبر الآن الطـاقة التي يمكن بذلها لفك نوكليون واحد من النواة ، وهذه الطـاقة هي $\frac{E_l}{A}$ ، مع اعتبار أن الطاقة E_l موزعة على كل النوكليونات في النواة .

كلما كانت طاقة التماسك لكل نوكليون في النواة أكبر كلما كانت النواة أكثر استقرار .

لو نظرنا إلى القائمة في الجدول نلاحظ على سبيل المثال طاقة تماسك نواة اليورانيوم أكبر من طاقة تماسك نواة الحديد ، رغم أن نواة الحديد أكثر استقرار من نواة اليورانيوم لأن طاقة التماسك لكل نوكليون في نواة الحديد أكبر من طاقة التماسك لكل نوكليون في نواة اليورانيوم .

النواة	${}_1^1H$	${}_1^2H$	${}_1^3H$	${}_2^3He$	${}_2^4He$	${}_3^6Li$	${}_3^7Li$	${}_{26}^{56}Fe$	${}_{92}^{238}U$
E_l (MeV)	0	2,30	8,49	6,66	28,28	32,10	38,85	492,24	1801,66
$\frac{E_l}{A}$ (MeV)	0	1,15	2,83	2,22	7,07	5,35	5,55	8,79	7,57

ملاحظة : نلاحظ في الجدول أن نواة الهيليوم ${}_2^4He$ هي أصغر نواة ذات استقرار كبير جدا ، وهذا ما يفسر إنبعاث هذه الأنوية في نمط الإشعاع α ، ولا تنبعث أنوية مثل ${}_2^3He$ أو ${}_3^6Li$.

إليك هذا المثال : عائلة أحمد دخلها الشهري 8 ملايين سنتيم أما عائلة خالد دخلها الشهري 4 ملايين سنتيم شهريا . يبدو لك لأول وهلة أن عائلة أحمد ميسورة الحال أكثر من عائلة خــالد . لكن كيف سيكون رد فعلك لو قلت لك أن عدد أفراد عائلة أحمد هو 11 فردا ، أما عدد أفراد عائلة خالد 3 أفراد ... طبعا ستغيّر رأيك لأن نصيب كل فرد في عائلة خالد يصبح أكبر من نصيب الفرد في عائلة أحمد ، وهذا ما يجعل عائلة خالد أكثر استقرارا .

GUEZOURI Aek

7 – منحنى أستون (Aston)

نستعمل عادة نظير قيمة طاقة التماسك لكل نوكليون ، أي $-\frac{E_l}{A}$

والتي تمثل الطـاقة اللازمة لنزع نوكليون من النواة .

منحني أستون يدرس تغيرات هذه الطاقة بدلالة العدد الكتلي A .

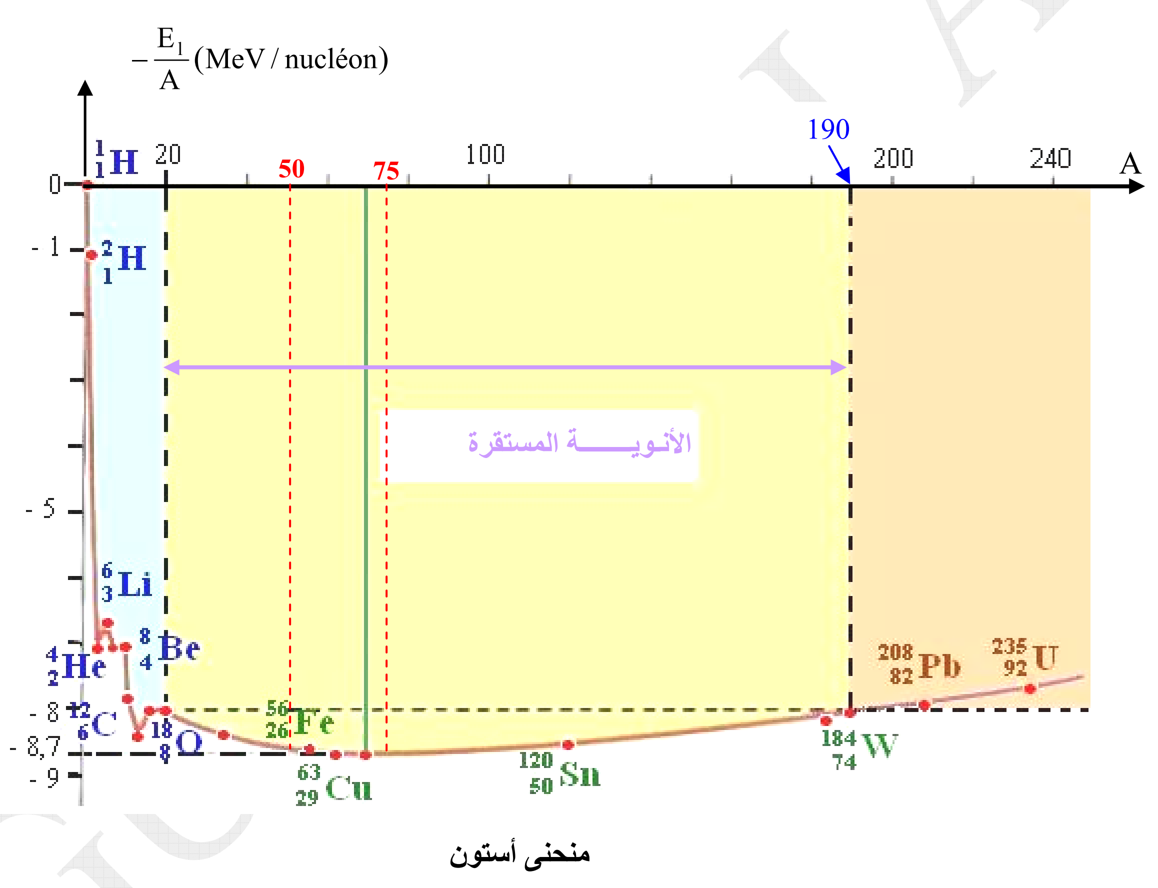
الأنوية المستقرة هي الأنوية التي طاقة تماسكها لكل نوكليون حوالي 8 MeV (موجودة حسابيا)

$50 < A < 75$: نلاحظ على منحني أستون نهاية صغرى توافق طاقة ارتباط لكل نوكليون قدرها 8,7 MeV

الأنوية المحصورة في هذا المجال تملك طاقة تماسك لكل نوكليون قيمتها المتوسطة حوالي 8,7 MeV . هذه الأنوية هي الأكثر استقرار من بينها النحاس 63 والحديد 56 .

$A > 100$: البيان يتصاعد ببطء عندما تزداد قيم A ، هذا المجال يوافق الأنوية الثقيلة ، وهي أنوية قليلة الاستقرار ($\frac{E_l}{A} < 8$ MeV)

$1 < A < 20$: الأنوية في هذا المجال غير مستقرة (أنوية خفيفة) لأن $\frac{E_l}{A} < 8$ MeV .



منحنى أستون

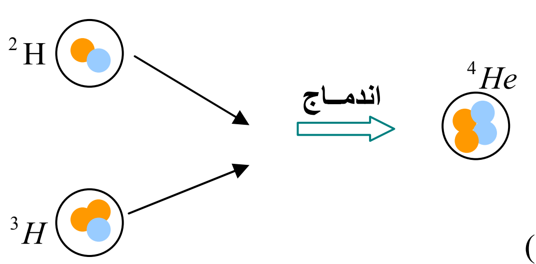
ملاحظة

توجد على منحني أستـون فقط الأنوية الطبيعية (الأنوية الموجودة في الطبيعة) ، وتوجد أنوية بجوار منحني أستون فوقه وأسفله ، حيث أن هذه الأنوية الأخيرة كلها اصطناعية .

8 – الاندماج النووي :

يمكن لنواتين خفيفتين في تصادم أن تندمجا مكونة نواة واحدة لها طاقة ارتباط لكل نوكليون أكبر مما في النواتين المندمجتين

مثال :



$${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$$

الطاقة المتحررة في هذا التفاعل هي حوالي 17 MeV

طاقة التماسك لكل نوكليون في النواة الناتجة أكبر من طاقة التماسك لكل نوكليون في كل من النواتين المندمجتين (انظر الجدول أعلاه)

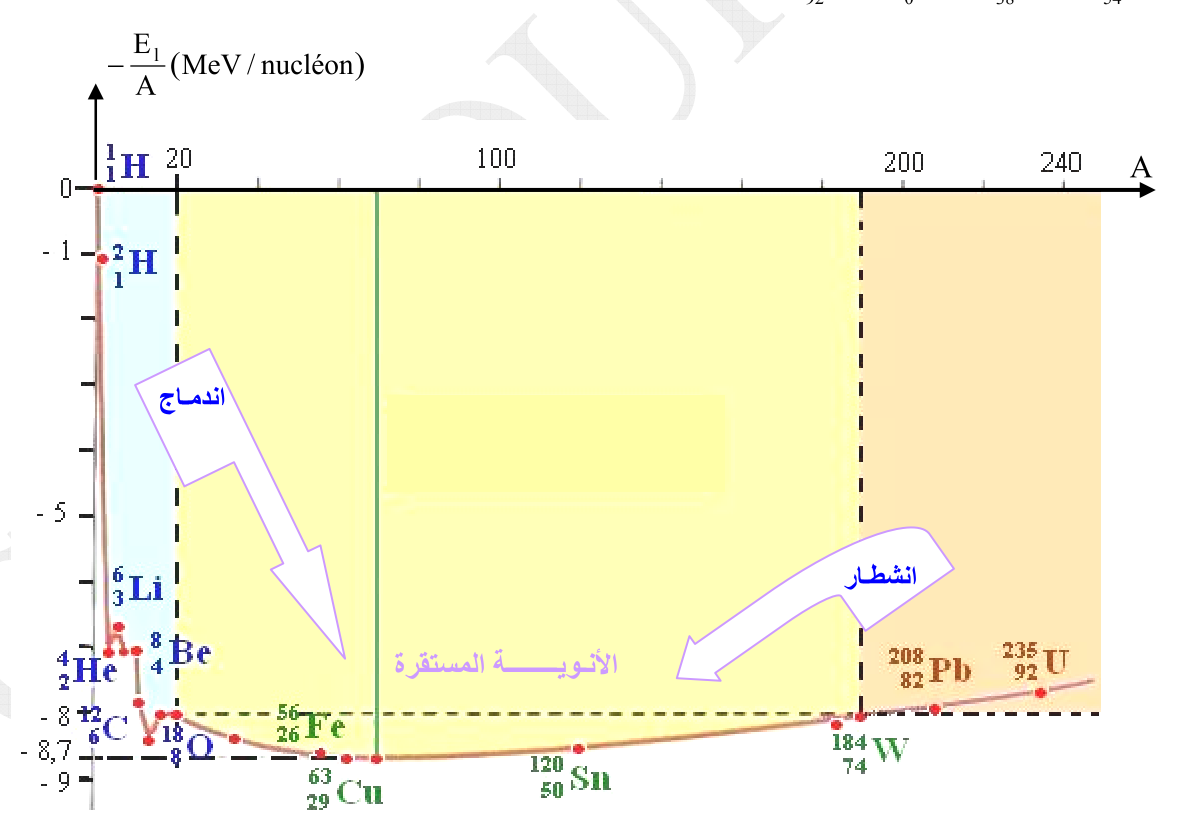
9 – الانشطار النووي :

تُستعمل النيوترونات لقذف أنوية ثقيلة لحصول على أنوية (شظايا) أخف من النواة المنشطرة . سبب اختيار النوترون في هذه العملية هو أن هذا الجسيم معتدل كهربائيا فلا يتنافر مع الأنوية .

الأنوية الناتجة عن الانشطار تكون أكثر استقرار من النواة المنشطرة .

مثال :

$${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{94}_{38}Sr + {}^{140}_{54}Xe + 2{}^{1}_{0}n$$



الأنوية غير المستقرة يمكن أن تتحول بطريقتين :

– الأنوية الثقيلة $A > 190$: يمكنها أن تنشطر إلى نواتين خفيفتين نسبيا تنتميان لمجال الإستقرار .

– بعض الأنوية الخفيفة (مثل $^{1}_{1}H$ ، $^{2}_{1}H$ ، $^{3}_{1}H$) : يمكنها أن تندمج لإعطاء نواة قريبة من مجال الإستقرار .

10 – الطاقة المحرّرة في تحوّل نووي

ليكن التحوّل النووي التالي : $^{A_1}_{Z_1}X_1 + ^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow ^{A_3}_{Z_3}X_3 + ^{A_4}_{Z_4}X_4$ ، بحيث يمكن أن تكون X أنوية أو جسيمات ، ويمكن أن تكون هذه الجسيمات و هذه الأنوية في حالة الراحة أم تتحرك ، فإن :

$m_1c^2 + E_{c1} + m_2c^2 + E_{c2} = m_3c^2 + E_{c3} + m_4c^2 + E_{c4}$ ، نضع طاقات الكتلة في طرف والطاقات الحركية في الطرف الآخر : $\left[(m_1+m_2)-(m_3+m_4)\right]c^2 = (E_{c3}+E_{c4})-(E_{c1}+E_{c2})$

الرمز Δ (Delta) يمثّل القيمة النهائية ناقص القيمة الابتدائية ، وبذلك يكون $\left[(m_1+m_2)-(m_3+m_4)\right] = -\Delta m$

أما $(E_{c3}+E_{c4})-(E_{c1}+E_{c2}) = \Delta E_c$

وبالتالي : $\Delta m\, c^2 = -\Delta E_c \qquad (1)$

- إذا كان $\Delta m > 0$ ، أي كتلة النواتج أكبر من كتلة المتفاعلات ، فهذا يؤدّي إلى أن $\Delta E_c < 0$ ، أي أن في هذا التحوّل النووي تحولت الطاقة الحركية إلى طاقة كتلة .
- إذا كان $\Delta m < 0$ ، أي كتلة النواتج أصغر من كتلة المتفاعلات ، فهذا يؤدّي إلى أن $\Delta E_c > 0$ ، أي أن في هذا التحوّل النووي تحولت الكتلة إلى طاقة حركية .

الطاقة المحررة في تحوّل نووي هي $\mathbf{E_{lib} = (m_i - m_f)\, c^2}$

m_i : الكتلة الإبتدائية (مجموع كتل المتفاعلات)

m_f : الكتلة النهائية (مجموع كتل النواتج)

c سرعة الضوء في الفراغ (ثابت أنشتاين)

E_{lib} : الطاقة المحررة

ملاحظة :

ما هي الطاقة الناتجة عن تحوّل $1\,u$ ؟ أي ما هي طاقة الكتلة الموافقة لكتلة قيمتها $m = 1\,u = 1{,}66055 \times 10^{-27}$ kg ؟

الجواب :

$$E = m\,c^2 = 1{,}66055\times10^{-27}\times\left(2{,}9977\times10^{8}\right)^2 = 14{,}9220\times10^{-11} J$$

نحوّل هذه الطاقة إلى الميغاإلكترون فولط (MeV) : $E = \dfrac{14{,}922\times10^{-11}}{1{,}602\times10^{-13}} \approx 931{,}5\,MeV$

إذا عوّضنا في علاقة أنشتاين الكتلة m بـ 1 u ، وعوّضنا الطاقة E بـ 931,5 MeV ، ولم نعوّض c . نكتب :

$$1u = 931{,}5\,MeV\ /c^2$$

وجدنا وحدة جديدة للكتلة ، هي MeV/c^2 .

عندما نريد حساب طاقة تماسك نواة أو الطاقة المحرّرة في تحوّل نووي ، وتكون لدينا الكتل مقدّرة بـ u .

مثلا $\Delta m = 1{,}3\,u$. نكتب العلاقة $E = \Delta m\, c^2$.

ولدينا $1{,}3u = 1{,}3\times931{,}5\,Mev/c^2$ ، إذن $E = 1{,}3\times931{,}5\dfrac{MeV}{c^2}\times c^2 = 1{,}3\times931{,}5\,MeV$.

وبالتالي إذا أردنا حساب الطاقة مقدرة مباشرة بـ MeV نضرب الكتلة مقدّرة بـ *u* في العدد الثابت 931,5

أما إذا أردنا حسابها مباشرة بـ Joule نضرب الكتلة مقدّرة بالـ kg في مربع سرعة الضوء في الفراغ مقدرة بـ m/s .

مثال 1

احسب الطاقة المحرّرة في التفاعل التالي : ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{149}_{58}Ce + {}^{84}_{34}Se + 3\,{}^{1}_{0}n$

المعطيات : $m_{Ce} = 148{,}928\ u$ ، $m_{Se} = 83{,}918\ u$ ، $m_U = 235{,}044\ u$ ، $m_n = 1{,}009\ u$

الحل : $E_{lib} = (m_i - m_f)\, c^2$ (2)

$$m_f = (m_{Ce} + m_{Se} + 3\,m_n) = 148{,}928 + 83{,}918 + 3 \times 1{,}009 = 235{,}873\ u$$

$$m_i = (m_U + m_n) = 235{,}044 + 1{,}009 = 236{,}053\ u$$

$$m_i - m_f = 236{,}053 - 235{,}873 = 0{,}18\ u$$

بالتعويض في العلاقة (2) : $E_{lib} = 0{,}18 \times 931{,}5 = 167{,}7\ MeV$

مثال 2

احسب الطــاقة المتحررة في التفاعل التلقائي التالي : ${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$

المعطيات : $m_{Ra} = 225{,}977\ u$ ، $m_{Rn} = 221{,}970\ u$ ، $m_{He} = 4{,}001\ u$

الحل : $E_{lib} = (m_i - m_f)\, c^2$

$$m_f = (m_{Rn} + m_{He}) = 221{,}970 + 4{,}001 = 225{,}971\ u$$

$$m_i = m_{Ra} = 225{,}977\ u$$

$$m_i - m_f = 225{,}977 - 225{,}971 = 6 \times 10^{-3}\ u$$

بالتعويض في علاقة أنشتاين : $E_{lib} = 6 \times 10^{-3} \times 931{,}5 = 5{,}6\ MeV$

التعبير عن E_{lib} بواسطة طاقات التماسك E_l

نستعمل هذا المثال لإيجاد العلاقة بين E_{lib} و E_l ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{149}_{58}Ce + {}^{84}_{34}Se + 3\,{}^{1}_{0}n$

$$E_{lib} = (m_U - m_{Ce} - m_{Se} - 2\,m_n)\, c^2 \quad (3)$$

طاقة تماسك نواة Ce هي : $E_l = (58\,m_p + 91\,m_n - m_{Ce})\, c^2$ ، ومنه : $m_{Ce} = 58m_p + 91m_n - \dfrac{E_{l\,Ce}}{c^2}$

بنفس الطريقة : $m_{Se} = 34m_p + 50m_n - \dfrac{E_{l\,Se}}{c^2}$

$$m_U = 92m_p + 143m_n - \frac{E_{l\,U}}{c^2}$$

بتعويض هذه الكتل في العلاقة (3) نجد : $E_{lib} = E_{l\,Ce} + E_{l\,Se} - E_{l\,U}$

أي : $E_{lib} = E_{l\,f} - E_{l\,i}$

ملاحظة : هذه العلاقة لا تُطبّق إذا كان التحول يحتوي على الجسيمات β

11 - القوى الأربعة في الطبيعة :

1 – قوة التجاذب المــادي : هي القوة التي تضمن بقاء الكواكب في مداراتها وتشد الأجسام للأرض .

2 – القوة الكهرومغناطيسية : هي القوة التي تشد الإلكترون إلى جوار النواة ، وهي المسؤولة عن الخصائص الكيميائية والفيزيائية للمادة .

3 – القوة النووية الشديدة : هي القوة التي تمسك مكونات النواة .

4 – القوة النووية الضعيفة : هي القوة التي تسبب تفكيك النواة (الأنوية المشعّة) .

GUEZOURI Aek